

**Olaf Krieger,
Andreas Breuer,
Klaus Lange,
Tobias Müller,
Thomas Form**

**Wahrscheinlichkeitsbasierte Fahrzeugdiagnose auf Basis
individuell generierter Prüfabläufe**

**Braunschweig : Institut für Regelungstechnik
Wolfsburg : Volkswagen AG**

Veröffentlicht: 18.08.2008

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00022947>

Auch erschienen in:
Mechatronik 2007 - Innovative Produktentwicklung, VDI Verlag
GmbH, 2007, ISBN 978-3-18-091971-3

Wahrscheinlichkeitsbasierte Fahrzeugdiagnose auf Basis individuell generierter Prüfabläufe

Probability based vehicle diagnosis using individually generated test sequences

M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) **O. Krieger**, Dipl.-Ing (FH) **A. Breuer**,
Dipl.-Ing **K. Lange**, Volkswagen AG, Wolfsburg;
Dipl.-Ing. **T. Müller**, Prof. Dr.-Ing. **T. Form** TU-Braunschweig

Kurzfassung

Die Komplexität vieler mechatronischer Systeme sorgt dafür, dass im Falle einer Störung hohe Kosten allein für die Ermittlung der Fehlerursache entstehen. Gerade bei der Diagnose immer komplexer werdender Fahrzeugsysteme wird dies besonders deutlich. Der vorliegende Beitrag beschreibt zwei aufeinander aufbauende Verfahren, die es zusammen zukünftigen Diagnosesystemen ermöglichen, Fehlerkandidaten und erforderliche Prüfschritte selbstständig zu ermitteln, ohne dafür auf hinterlegtes Expertenwissen angewiesen zu sein.

Abstract

In case of malfunction, costs for detecting its cause can increase rapidly due to the complexity of mechatronical systems. This is especially applicable for diagnosis in automotive systems. The combined utilization of two corresponding methods described in this paper enables future diagnosis systems to detect possible failure causes and necessary test steps without being dependent on expert knowledge.

1. Hintergrund und Ausgangssituation

Die meisten elektrischen Systeme sowohl in der Fahrzeugtechnik als auch allgemein in der Automatisierungstechnik sind eigendiagnosefähig. Darunter wird im Folgenden verstanden, dass sie Störungen im System selbstständig erkennen und kommunizieren können. Im Bereich der Fahrzeugtechnik wurden unter dem Begriff der On-Board-Diagnose Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle definiert, über die auf alle Steuergeräte zugegriffen werden kann, um Ereignisspeichereinträge (DTC¹), Messwerte und andere Informationen aus dem

¹ DTC – engl. Diagnostic Trouble Code

Fahrzeug auszulesen [1]. Die Informationen werden durch Diagnoseroutinen innerhalb der Steuergerätesoftware ermittelt. Dafür existieren verschiedene Verfahren. So werden in der Regel alle von Sensoren eingelesenen Analogsignale dahingehend überwacht, ob sie innerhalb eines zulässigen Bereiches liegen. In vielen Fällen werden auch Sensorsignale gegeneinander plausibilisiert. Bei komplexeren mechatronischen Systemen, wie sie z.B. zur Regelung des Verbrennungsprozesses in Motoren zum Einsatz kommen, werden darüber hinaus modellbasierte Diagnoseverfahren eingesetzt [2].

Im Gegensatz zur Eigendiagnose (On-Board-Diagnose) versteht man unter Off-Board-Diagnose-Systemen eine Klasse von Systemen, die im Bedarfsfall z.B. in der Werkstatt an ein Fahrzeug angeschlossen werden und gewissermaßen von außen über eine Datenverbindung auf die Systeme im Fahrzeug zugreifen. Sie haben die Möglichkeit, die Ereignisspeichereinträge aller vorhandenen Fahrzeugsysteme auszulesen und dem Mechaniker in einer lesbaren Form anzuzeigen. Des Weiteren kann über diese Geräte auf zusätzliche Diagnosedienste der einzelnen Steuergeräte zugegriffen werden. Dadurch ist es unter anderem möglich, einzelne Messwerte von Sensoren abzufragen, Stellglieder (Aktoren) gezielt anzusteuern oder die Software zu aktualisieren.

Leistungsfähige Diagnosesysteme sollen dem Mechaniker nicht nur alle Informationen aus den einzelnen Steuergeräten anzeigen, sondern ihn bei der Fehlersuche aktiv unterstützen können. Das bedeutet unter anderem, dass sie dem Mechaniker sinnvolle Prüfungen vorschlagen und am Ende die fehlerhafte Komponente und mögliche Reparaturempfehlungen ausgeben können. Ein System, welches dies ermöglicht und im Kundendienst von Volkswagen eingesetzt wird, ist die Geführte Fehlersuche (GFS). Die GFS verwendet Fehlersuchprogramme auf Basis von Entscheidungsbäumen, welche von einem Team von Experten erstellt, in verschiedene Sprachen übersetzt und weltweit an die Anwender verteilt werden. Dabei werden für Fehlercodes, die in einem Fahrzeug auftreten können, Fehlersuchprogramme erstellt. Eine besondere Schwierigkeit besteht dabei in der Abdeckung aller Varianten eines Fahrzeugs bzw. Fahrzeugsystems. Die Varianten entstehen durch die zahlreichen Ausstattungsmöglichkeiten, aus denen ein Kunde bei der Fahrzeugbestellung auswählen kann. Dies ist bei der Erstellung der Fehlersuchprogramme zu berücksichtigen, da sich Fehler in unterschiedlichen Fahrzeugvarianten ganz unterschiedlich äußern und auch Prüf- und Reparaturanweisungen stark variieren können.

2. Problemanalyse

Die Qualität der Aussage eines Diagnosesystems hängt maßgeblich von der Qualität der zugrunde liegenden Wissensbasis ab. Wenn das hinterlegte Wissen nicht oder nur teilweise mit dem zu diagnostizierenden Fahrzeug übereinstimmt, ist das Diagnosesystem nur bedingt hilfreich. Da es jedoch mit bisherigen Verfahren schwer möglich ist, für jede Fahrzeugvariante eine individuelle Wissensbasis zu erstellen, wurde bei Volkswagen nach einem Weg gesucht dieses Problem zu lösen.

Besonders deutlich äußert sich das Variantenproblem bei der Suche nach Fehlern im Bordnetz eines Fahrzeugs. Diese auch als Kupferfehler bezeichnete Klasse von Fehlern umfasst jegliche Art von Verbindungs- und Leitungsfehlern wie Kabelbrüche, Kurzschlüsse sowie korrodierte, lockere oder beschädigte Steckverbinder. Für die Suche nach Fehlern dieser Art ist für einen Fachmann ein vollständiger Stromlaufplan das wichtigste Hilfsmittel. Das notwendige Fachwissen vorausgesetzt, kann er darin erkennen, welche Komponenten durch einen Defekt das bestehende Fehlerbild hätten hervorrufen können. Auch lässt sich daraus ableiten, welche Messungen notwendig sind, um Fehlerkandidaten zu überprüfen und sie dadurch entweder auszuschließen oder als fehlerhaft zu identifizieren.

Ein „intelligentes“ Diagnosesystem sollte in der Lage sein, mithilfe des Stromlaufplans selbstständig Fehlerkandidaten zu identifizieren und dem Servicetechniker schrittweise sinnvolle Prüfungen vorzuschlagen, ohne dafür auf von Experten erstellte Fehlersuchprogramme zurückgreifen zu müssen. Solange es sich bei den einzugrenzenden Fehlern um die oben erwähnten Kupferfehler handelt, ist dies technisch machbar, da das System dafür lediglich physikalische Gesetzmäßigkeiten aus der Elektrotechnik kennen muss, um zu entscheiden, welche Messungen den bestehenden Fehler am besten eingrenzen können.

In komplexen Systemen, wie modernen Fahrzeugen, gibt es jedoch auch weiterhin Fehlersituationen, die nur mit Hilfe von Expertenwissen diagnostiziert werden können. Aus diesem Grund können intelligente Diagnosesysteme die manuell erstellten Prüfprogramme aus heutiger Sicht nicht vollständig ersetzen, sie stellen jedoch eine sinnvolle Ergänzung dar.

Bei der Entwicklung eines solchen intelligenten Diagnosesystems galt es einige grundlegende Probleme zu lösen. Zunächst musste ein Weg gefunden werden, für jedes Fahrzeug einen individuellen Stromlaufplan bzw. ein elektronisch lesbares vollständiges Pendant zu generieren. Des Weiteren mussten Techniken gefunden werden, die ein Diagnosesystem in die Lage versetzen, auf Basis dieser Informationen mögliche Fehlerkandidaten zu ermitteln, sinnvolle Prüfschritte vorzuschlagen und deren Ergebnisse wiederum für die Ermittlung der Fehlerkandidaten zu nutzen.

3. Diagnosewissen

Nachdem ein Kunde ein Fahrzeug bestellt hat, wird ermittelt, welche Komponenten in diesem Fahrzeug verbaut werden müssen. So wird auch abhängig von der Ausstattung ermittelt, welchen Umfang die einzelnen Leitungsstränge im Bordnetz haben sollen. Zu diesem Zeitpunkt wird dazu ein Datensatz generiert, der eine vollständige Beschreibung der elektrischen Struktur des Fahrzeugs enthält. Der Datensatz enthält jeden einzelnen Leitungsschnitt, alle Steckverbindungen sowie Massepunkte, Klemmstellen, Sicherungen und natürlich alle Steuergeräte sowie Sensoren und Aktoren. Er wird bei Volkswagen zusammen mit der Fahrgestellnummer, in einer Datenbank über die gesamte Lebensdauer eines Fahrzeugs gespeichert. Aus dieser Strukturbeschreibung lässt sich jeder Zeit ein vollständiger und fahrzeugindividueller Stromlaufplan oder ein beliebiger Ausschnitt davon mit dem gewünschten Detailgrad generieren. Weitere Informationen, die für das Diagnosesystem benötigt werden, entstehen bereits bei der Fahrzeugentwicklung. Es wird für jede Diagnosefunktion spezifiziert, welchen Teil der angeschlossenen Peripherie sie überwachen und welche Ereignisspeichereinträge mit der Überwachung korrespondieren. Diese Informationen ermöglichen einem Diagnosegerät das Schließen von Fehlersymptomen (Ereignisspeichereinträge) auf mögliche Fehlerkandidaten. Seit 2005 wird bei Volkswagen ein System betrieben, welches einem Diagnosesystem diese Daten zusammen mit dem Struktur-Datensatz fahrzeugindividuell zur Verfügung stellt.

Ein erfahrener Mechaniker weiß, welche Komponenten häufig kaputt gehen und deshalb zuerst überprüft werden sollten und bei welchen ein Fehler sehr unwahrscheinlich ist. Das im Abschnitt 4 vorgestellte wahrscheinlichkeitsbasierte Verfahren kann mit dieser Art von Informationen ebenfalls umgehen. Die notwendigen Daten werden in Form von Komponentenausfallwahrscheinlichkeiten von der Qualitätssicherung erhoben und können für die Diagnose verwendet werden.

Ein erfahrener Mechaniker kann auch abschätzen mit welchem Aufwand eine bestimmte Prüfung verbunden ist, und dadurch unter Umständen andere Prüfungen vorziehen, um die Fehlersuchzeit zu verkürzen. Auch dies kann von einem intelligenten Diagnosesystem übernommen werden. Das Wissen über den Aufwand, der sich hinter dem Aus- und Einbau einzelner Komponenten verbirgt, wird bei Volkswagen zentral ermittelt und dient als Grundlage für die Aufwandsermittlung der Werkstätten. Auch diese Daten können dem Diagnosesystem zur Verfügung gestellt werden.

Alle hier genannten Informationen zeichnen sich dadurch aus, dass sie einfach und vor allem automatisch aus vorhandenen Daten der Entwicklung, der Produktion, des Kundendienstes und der Qualitätssicherung abgeleitet werden können. Ein Diagnosesystem, welches diese

Informationen unmittelbar auswerten kann, hat einen enormen Vorteil gegenüber Systemen, die auf Expertenwissen basieren, da der manuelle Erstellaufwand und die Verifikation der Fehlersuchprogramme entfällt.

4. Wahrscheinlichkeitsbasierte Fehlerkandidatenermittlung

Die Aufgabe des im Folgenden vorgestellten Verfahrens besteht darin, auf Grund von Wissen über das vorliegende System und bekannten Fehlersymptomen eine mit Wahrscheinlichkeiten gewichtete Liste mit Fehlerkandidaten zu bestimmen. Zu diesem Zweck kommt ein Bayessches Netz zum Einsatz. Bayessche Netze sind ein Verfahren aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz und ermöglichen wahrscheinlichkeitsbasiertes Schließen auf Basis von unsicherem Wissen [3]. Rein mathematisch betrachtet, stellen sie ein sehr effizientes Verfahren zur Berechnung von Zustandswahrscheinlichkeiten dar.

Es existieren verschiedene Werkzeuge zum Erstellen und Verwenden von Bayesschen Netzen. Für das beschriebene Diagnosesystem wird ein Produkt der Firma HUGIN² verwendet. Über eine API greift das Diagnosesystem auf die Funktionen dieser Software zu und kann mit deren Hilfe zur Laufzeit des Programms ein fahrzeug- und problemindividuelles Bayessches Netz erzeugen und auf deren Grundlage die erforderlichen Berechnungen in Echtzeit durchzuführen. Zur Bestimmung der Fehlerkandidaten wird für jede elektrische Komponente und jeden potentiell auftretenden Ereignisspeichereintrag ein Knoten mit zwei logischen Zuständen innerhalb eines Bayesschen Netzes erzeugt. In Bild 1 ist ein einfaches Netz sowie die Benennung der zwei Zustände dargestellt.

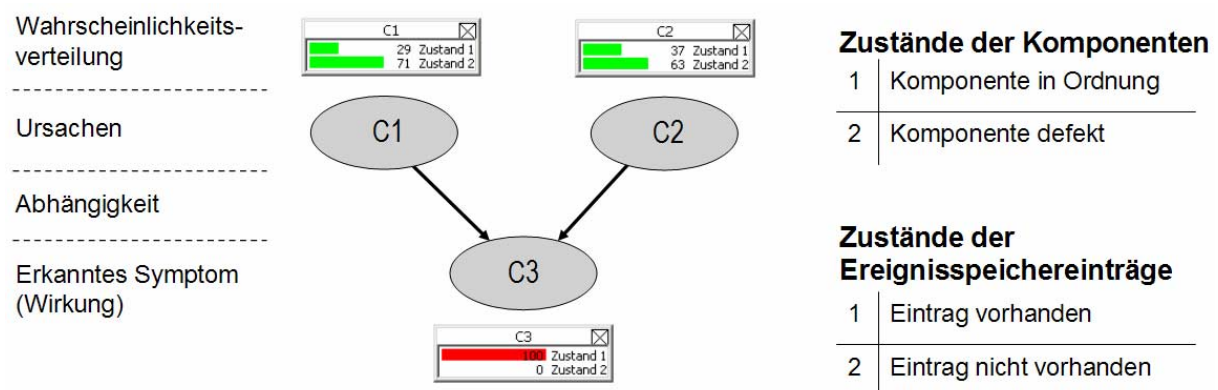


Bild 1: Bayessches Netz und Benennung der Zustände

² HUGIN-Developer - www.hugin.com

Die kleinen Fenster über bzw. unter den Knoten geben die Verteilung der Zustandswahrscheinlichkeiten an. Die Ereignisspeichereinträge stellen erkannte Fehlersymptome dar. Die Aufgabe des Bayesschen Netzes besteht darin, von diesen Symptomen auf die möglichen Ursachen zu schließen. Als Ergebnis berechnet es für jeden Knoten, der eine Komponente repräsentiert, die Wahrscheinlichkeit, mit dem er sich im Zustand „fehlerhaft“ befindet. Bei der Berechnung dieser Fehlerwahrscheinlichkeit werden Ausfallwahrscheinlichkeiten der einzelnen Komponenten berücksichtigt.

Ausfallwahrscheinlichkeiten sind statistische Messgrößen der Qualitätssicherung und stellen das Erfahrungswissen des Diagnosesystems dar. Sie werden aus den Diagnoseprotokollen und Abrechnungsdaten tausender Vertragswerkstätten gewonnen.

Damit ein Bayessches Netz die Fehlerkandidaten ermitteln kann, ist es notwendig, dass die Informationen über die Struktur des elektrischen Systems (entspricht dem vollständigen Stromlaufplan) sowie die Zuordnung zu den Ereignisspeichereinträgen in das Bayessche Netz überführt werden. Wie dies genau funktioniert wird im Folgenden an einem Beispiel der Fahrzeugklimaanlage beschrieben.

Das Bild 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Stromlaufplan einer Klimaanlage. Es sind das Steuergerät und vier seiner Anschlüsse zu sehen, an denen die Umluftklappe (elektromechanisches Bauteil) mit Getriebemotor und einem Potentiometer angeschlossen ist. Über die Leitung 1 versorgt das Steuergerät das Potentiometer sowie eine Reihe weiterer Sensoren (nicht dargestellt) mit einer Referenzspannung. Im Falle einer Störung (z.B. Kurzschluss) dieser Spannungsversorgung wird ein Eintrag (DTC A) im Ereignisspeicher abgelegt. Die korrekte Funktion des Motors, des Potentiometers, der Leitungen 2-4 sowie der Mechanik der Umluftklappe wird während der Ansteuerung des Motors durch Überwachung der Spannungsänderung vom Potentiometer überwacht. Wird dort ein Fehlverhalten erkannt, wird der Eintrag (DTC B) im Ereignisspeicher generiert.

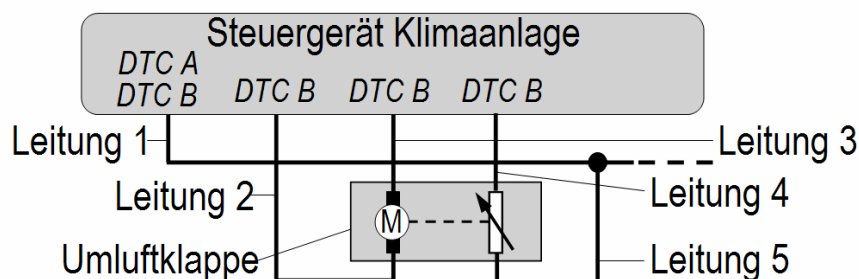


Bild 2: Ausschnitt aus dem Stromlaufplan einer Klimaanlage

Die Abbildung zeigt vier überwachte Anschlüsse des Steuergerätes. Alle Komponenten, die an einem solchen Anschluss hängen, werden aus diagnostischer Sicht zu einer Wirkkette zusammengefasst. Das bedeutet, dass sich ein Fehler in diesen Komponenten durch die Überwachungsfunktion hinter diesem Anschluss erkennen lässt.

Bei der Überführung der fahrzeugindividuellen Strukturdaten in ein Bayessches Netz wird zunächst für jede elektrische Komponente und für jeden DTC ein Bayes-Netz-Knoten erzeugt. Weiterhin wird für jeden überwachten Anschluss eines Steuergerätes ein Wirkkettenknoten hinzugefügt. Im nächsten Schritt werden die bestehenden Abhängigkeitsbeziehungen in das Bayessche Netz überführt. Das Bild 3 stellt die im Beispiel vorhandenen Abhängigkeiten dar.

Im oberen Teil der Abbildung werden die vorhandenen elektrischen Komponenten den vier Wirkketten zugeordnet. Der untere Teil der Abbildung enthält die Zuordnung zwischen den Wirkketten und den beiden erkennbaren Fehlersymptomen. Liegen zu den elektrischen Komponenten Ausfallwahrscheinlichkeiten vor, werden diese in die Komponentenknoten eingetragen.

Wenn dem Diagnosesystem bekannt ist, dass ein Ereignisspeichereintrag (DTC) vorhanden bzw. nicht vorhanden ist, wird eine Berechnung des Netzes angestoßen. Dies geschieht, indem die Zustandswahrscheinlichkeit eines Symptomknotens auf „Eintrag ist zu 100% vorhanden“ bzw. „Eintrag ist zu 100% nicht vorhanden“ gesetzt wird. Nach dem Berechnungsschritt ändert sich die Fehlerwahrscheinlichkeit der einzelnen elektrischen Komponenten. Wenn, wie im Beispiel, alle Komponenten durch Diagnosefunktionen überwacht werden und kein Ereignisspeichereintrag vorhanden ist, geht die Fehlerwahrscheinlichkeit aller Komponenten auf 0%. Werden ein oder mehr Fehler erkannt, steigt die Fehlerwahrscheinlichkeit für die Komponenten, die diese Fehler verursachen können.

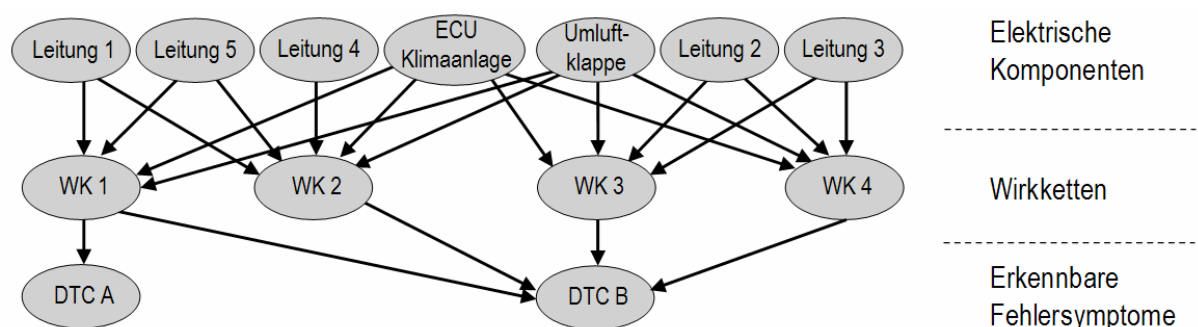


Bild 3: Aus dem Stromlaufplan abgeleitetes Bayessches Netz zur Berechnung der Fehlerwahrscheinlichkeiten

Ein Bayessches Netz, in der Form wie es in Bild 3 dargestellt ist, ist für komplexe Systeme wie für ein gesamtes Fahrzeug mit weit über 1000 elektrischen Komponenten nicht effizient berechenbar. Die Ursache dafür liegt jedoch nicht in der Anzahl der Knoten, sondern ist in der Komplexität der Abhängigkeiten begründet. Dies äußert sich dadurch, dass der Zustand eines Wirkkettenknotens von sehr vielen Komponentenknoten bestimmt wird (dargestellt durch viele Kanten, die zum Wirkkettenknoten hin führen). Eine mögliche Lösung des Problems besteht darin, weitere Knoten zwischen den Komponenten- und den Wirkkettenknoten einzufügen, die elektrische Teilsysteme repräsentieren [4]. Diese Teilsysteme bestehen aus wenigen Komponenten oder anderen Teilsystemen und besitzen eine geringe Komplexität. Das Bayessche Netz berechnet dadurch im ersten Schritt nur, in welchem Teilsystem die Ursache liegen kann, um diese danach weiter zu zerlegen. Im Ergebnis kann das Netz dadurch die Fehlerkandidaten und deren Fehlerwahrscheinlichkeit von sehr komplexen Systemen ohne spürbare Verzögerung berechnen und in eine gewichtete Liste schreiben.

Seine Stärke kann das Diagnosesystem vor allem bei komplexen Systemen ausspielen, die viele unterschiedliche Fehler erkennen können. Der Ausfall einer Komponente ruft in vielen Fällen mehr als einen Ereignisspeichereintrag hervor. Vor allem bei Störungen der Versorgungsspannung, der Masseverbindungen sowie der Datenbusse kann der Fehler einer einzelnen Komponente Fehlermeldungen in verschiedenen scheinbar unabhängigen Komponenten hervorrufen.

Das Bayessche Netz ist in diesem Fall in der Lage, sehr hilfreiche Aussagen zu treffen. Bei Komponenten, die durch mehrere DTCs aus unterschiedlichen Steuergeräten belastet werden, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sie fehlerhaft sind. Auf Grund dieser Eigenschaft ist das Diagnosesystem in der Lage, sehr präzise Aussagen bezüglich der Fehlerursache machen zu können, indem es das größte Verdachtsmoment auf eine einzelne Komponente legt, die durch das gegebene Symptombild die höchste Fehlerwahrscheinlichkeit hat. Wenn im Rahmen der Fehlersuche erkannt wurde, dass eine bestimmte elektrische Komponente nicht fehlerhaft ist, kann dieses Wissen dem Bayesschen Netz mitgeteilt werden, indem der Zustand der Komponente auf 100% „in Ordnung“ gesetzt wird. Nach einer Neuberechnung des Netzes ergibt sich dann eine Veränderung der gewichteten Fehlerkandidatenliste. Da diese Berechnung auf handelsüblicher Hardware weniger als eine Sekunde benötigt, kann sie nach jedem Prüfschritt durchgeführt werden, um die neuen Top-Fehlerkandidaten zu ermitteln. Dadurch, dass das Diagnosesystem als Fehlerkandidaten einzelne elektrische Komponenten wie Stecker oder Leitungsabschnitte ermitteln kann, ergibt sich eine viel höhere Diagnosetiefe, als dies durch eine reine On-Bord-Diagnose, so wie sie am Anfang beschrieben wurde, möglich ist.

5. Dynamischer Prüfablauf

Die wahrscheinlichkeitsbasierte Fehlerkandidatenermittlung ist bereits eine große Hilfe bei der Eingrenzung der Fehlerursache. Sie wird jedoch den Anforderungen an ein intelligentes Diagnosesystem, wie zu Beginn dieses Beitrags zusammengefasst, nur zum Teil gerecht. Ein solches intelligentes Diagnosesystem soll selbstständig Prüfungen ermitteln und dem Servicetechniker vorschlagen können. Darüber hinaus soll es die Prüfergebnisse auch selbstständig interpretieren und dadurch auf die Ursache des Fehlers schließen können.

Um dies zu erreichen wird die wahrscheinlichkeitsbasierte Fehlerkandidatenermittlung durch einen dynamischen Prüfablauf ergänzt. Ein dynamischer Prüfablauf verhält sich aus Sicht des Anwenders ähnlich dem starren Ablauf eines Fehlersuchprogramms mit dem Unterschied, dass jeder einzelne Prüfschritt zur Laufzeit ermittelt wird, und dass der Anwender selbst Einfluss auf den Prüfablauf nehmen kann.

Um dies zu realisieren sind folgende Schritte notwendig:

1. Ableitung aller sinnvollen Messungen zur Überprüfung eines Fehlerkandidaten,
2. Ermittlung des Zielführungsgrades jeder einzelnen Messung,
3. Auswahl der Messung mit dem höchsten Zielführungsgrad,
4. Erstellung und Ausgabe einer Prüfanweisung,
5. Auswertung des Prüfergebnisses und Ermittlung des nächsten Prüfschritts.

Die Ableitung sinnvoller Messungen erfolgt auf Basis der Strukturbeschreibung, die einem vollständigen Stromlaufplan entspricht. Zur Eingrenzung von Kupferfehlern kennt das Diagnosesystem vier grundlegende Messungen:

1. Durchgangsprüfung zwischen zwei Trennstellen (Stecker, Klemmstellen),
2. Spannungsprüfung gegen Fahrzeugmasse,
3. Überprüfung der Masseverbindung (Durchgangsprüfung gegen Fahrzeugmasse),
4. Spannungsmessung zwischen zwei Pins eines Steckers.

Durch geschickte Anwendung dieser vier Messungen ist es möglich, nahezu alle Kupferfehler in einem Fahrzeug zu finden. Am Einfachsten ist der Algorithmus zum Ermitteln von Durchgangsprüfungen. Er wird im Folgenden an einem Beispiel erläutert.

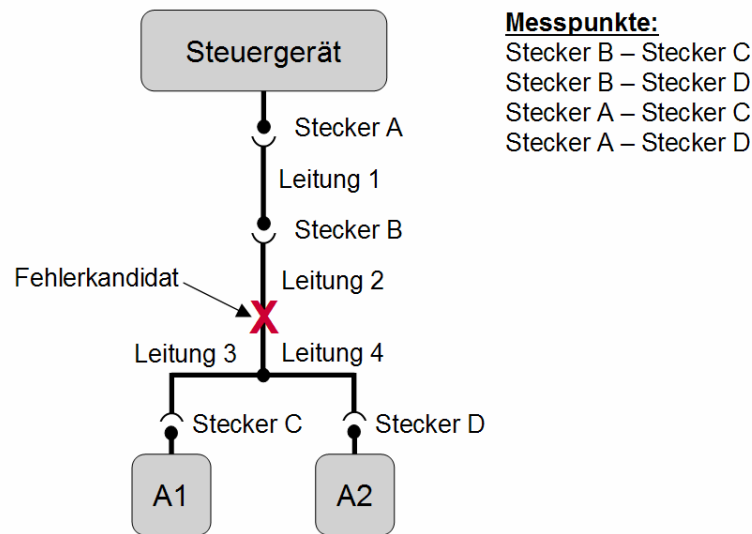


Bild 4: Ermittlung von Messpunkten zur Prüfung von Leitung 2

Das Bild 4 zeigt einen Ausschnitt aus einem Stromlaufplan, der ein Steuergerät, zwei Aktoren, vier Leitungen, vier Steckern und einen Splice (Knotenpunkt) enthält. Es sollen alle Durchgangsprüfungen zur Überprüfung von Leitung 2 ermittelt werden. Dafür läuft der Algorithmus ausgehend vom Fehlerkandidaten in beide Richtungen und ermittelt alle möglichen Paarungen, die jeweils aus einem Messpunkt oberhalb und einem Messpunkt unterhalb des Fehlerkandidaten bestehen. Bei Verzweigungen, wie dem abgebildeten Splice, werden alle Zweige vollständig abgelaufen. Der Algorithmus stoppt, sobald er auf eine aktive Komponente stößt. Dies sind in diesem Fall das Steuergerät sowie die Aktoren. Die folgenden vier Paarungen werden ermittelt: B-C, B-D, A-C, A-D. Jede dieser Paarungen stellt eine mögliche Durchgangsprüfung dar.

Der Algorithmus führt diesen Schritt für jeden der ermittelten Fehlerkandidaten durch. Doppelt auftretende Prüfungen werden nur einmal abgelegt. Im nächsten Schritt wird für jede Prüfung ermittelt, welche Komponenten sie prüft. Für die Durchgangsprüfung zwischen dem Stecker A und dem Stecker C sind dies, neben der Leitung 2 und den beiden Steckern, die Leitung 1, die Leitung 3, der Stecker B und der Splice.

Die Ermittlung von Spannungs- und Masseprüfungen ist etwas aufwendiger. Zunächst muss dem System bekannt sein, was für Spannungen an den einzelnen Messpunkten überhaupt anliegen sollten. Dafür wird dem Diagnosesystem ein weiterer Datensatz zur Verfügung gestellt. Darin ist für ausgewählte Punkte im Stromlaufplan angegeben, welches Signal dort anliegen sollte und welche Bedingung dafür erfüllt sein muss (z.B. Zündung eingeschaltet). Es wird z.B. angegeben, dass am Pluspol der Batterie immer eine Spannung zwischen 10

und 14 Volt gegenüber der Fahrzeugmasse gemessen werden muss. Diese Information wird innerhalb des Stromlaufplans verbreitet, so dass an allen Messpunkten, die über einen direkten Kupferpfad (Sicherungen zählen mit dazu) mit dem Pluspol der Batterie verbunden sind, das gleiche Signal angetragen wird. Nach dem gleichen Prinzip wird mit den Masseverbindungen verfahren. Dadurch ist dem Diagnosesystem bekannt, an welchem Pin eines Steckers Versorgungsspannung und Masse anliegen sollte.

Der in Bild 5 dargestellte Ausschnitt aus einem Stromlaufplan zeigt ein Steuergerät, an dem normalerweise drei Sensoren angeschlossen sind. Die eingezeichneten Messgeräte stellen sechs Prüfschritte dar, die nacheinander zur Überprüfung der Spannungsversorgung der Sensoren durchgeführt werden können. Dem Diagnosesystem ist bekannt, dass über den Pin 2 die Spannungsversorgung für die Sensoren zur Verfügung gestellt wird. Aus der Strukturbeschreibung wird abgeleitet, an welchem Pin der Sensoren diese Spannung anliegen muss. Das gleiche Prinzip wird verwendet, um die Masseverbindungen zu identifizieren. Aus den somit gewonnenen Informationen lassen sich entsprechende Prüfanweisungen generieren und bei Bedarf ausgeben.

Nachdem die Prüfungen aus der Strukturbeschreibung abgeleitet wurden, stehen dem Diagnosesystem neben den Fehlerkandidaten und deren Fehlerwahrscheinlichkeiten eine Liste mit Prüfungen zur Verfügung, von denen jeweils bekannt ist, welche Komponenten sie umfassen.

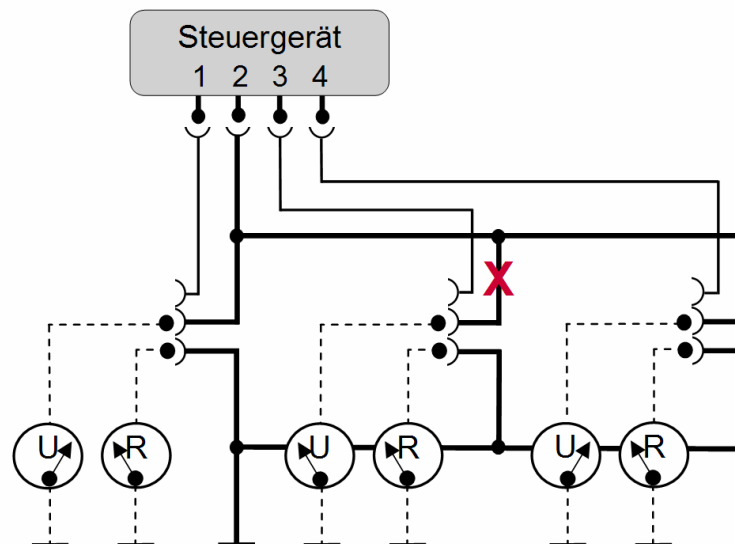


Bild 5: Spannungs- und Durchgangsprüfungen zum Eingrenzen des Fehlerkandidaten

Das Diagnosesystem muss jetzt entscheiden, welche der Prüfungen zuerst durchgeführt werden soll. Dafür wird für jede der verfügbaren Prüfungen ein Zielführungsgrad ermittelt.

Dies geschieht, indem zunächst für alle ermittelten Prüfungen der notwendige Aufwand ermittelt wird. Dieser setzt sich aus dem eigentlichen Messaufwand und dem Aufwand für den Zugang zu den Messpunkten zusammen. Dabei wird der Aufwand für den Zugang zu einem Messpunkt, nur einmal berücksichtigt. Das bedeutet, wenn nacheinander mehrere Messungen an einem Stecker vorgenommen werden, besteht ab der zweiten Messung der Aufwand nur noch aus dem reinen Messaufwand. Des Weiteren wird für die Ermittlung des Zielführungsgrades der Nutzen, den jede einzelne Prüfung verspricht, bestimmt. Dieser hängt davon ab, welche Fehlerkandidaten durch die jeweilige Messung geprüft werden. Der Nutzen ist die Summe aller korrespondierenden Fehlerwahrscheinlichkeiten. Die Prüfung, die die meisten der Top-Fehlerkandidaten betrifft, verspricht somit den größten Nutzen. Der Zielführungsgrad ist das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen.

Nachdem ermittelt wurde, welche Messung auf Grund der gegebenen Fehlersymptome und der Informationen über das elektrische Gesamtsystem sinnvoll sind, um den Fehler einzugrenzen, muss das Diagnosesystem dies an den Anwender kommunizieren. Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine schrittweise Führung des Anwenders, wie bei der Geführten Fehlersuche, von einem Prüfschritt zum nächsten, sehr sinnvoll ist. Dabei wird eine Sequenz von Prüfanweisungen auf dem Bildschirm des Diagnosegerätes angezeigt. In vielen Fällen ist es hilfreich, wenn die Prüfanweisungen durch zusätzliche Abbildungen ergänzt werden, die z.B. die genaue Belegung der Stecker darstellen. Auch sollte eindeutig zu erkennen sein, welcher Stecker eines Steuergerätes gemeint ist. Bei manuell erstellten Prüfprogrammen werden all diese Informationen von Hand eingegeben. Bei dem beschriebenen dynamischen Prüfablauf werden diese Anweisungen automatisch erstellt. Dafür werden parametrierbare Prüfanweisungen verwendet. Diese funktionieren nach dem Prinzip der Templates und enthalten Platzhalter, die erst zur Laufzeit mit den spezifischen Informationen gefüllt werden. Aus den ermittelten Prüfungen geht hervor, welche Art von Messung durchgeführt werden soll und an welchem Pin des jeweiligen Steckers das Messgerät anzuschließen ist. In der Strukturbeschreibung, aus der die einzelnen Prüfungen abgeleitet werden, ist jede Komponente eindeutig über eine Teilenummer identifizierbar. Es existiert eine Liste, die jeder Komponente einen Namen zuordnet. Auch verfügbare Abbildungen können automatisch zugeordnet werden.

Im Gegensatz zu den starren Abläufen der Geführten Fehlersuche hat der Anwender bei einem dynamischen Prüfablauf die Möglichkeit, die Prüfschritte in einer anderen Reihenfolge als der Empfohlenen durchzuführen. Dies ist vor allem für erfahrene Anwender hilfreich, die bereits eine sehr genaue Vorstellung von der Fehlerursache haben. Dafür gibt es bei jeder Prüfanweisung eine Schaltfläche zum Überspringen des Prüfschritts, woraufhin die nächste

Prüfung, aus der nach dem Zielführungsgrad sortierten Liste von Prüfungen, geladen wird. Es gibt auch die Möglichkeit direkt aus dieser Liste eine beliebige Prüfung zu starten.

Nachdem die Messung durchgeführt wurde, gibt der Anwender an, ob die Prüfung bestanden wurde oder fehlgeschlagen ist. Das Prüfergebnis fließt wiederum in die wahrscheinlichkeitsbasierte Fehlerkandidatenermittlung ein und führt zu einer Neuberechnung des Bayesschen Netzes. Da sich daraufhin sowohl die Fehlerkandidaten als auch die Menge der verfügbaren und noch nicht durchgeführten Tests geändert hat, muss erneut der Zielführungsgrad für alle Prüfung ermittelt werden.

Die Prüfungssequenz endet, wenn der Anwender durch Messungen die Fehlerursache hinreichend genug eingegrenzt hat und dadurch in der Fehlerkandidatenliste nur noch ein Kandidat enthalten ist.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Bei Volkswagen wird kontinuierlich an Verfahren für eine intelligente Fahrzeugdiagnose gearbeitet. Im vorliegenden Beitrag wurden zwei Verfahren vorgestellt, die die Leistungsfähigkeit zukünftiger Diagnosesysteme signifikant erhöhen können. Die wahrscheinlichkeitsbasierte Fehlerkandidatenermittlung versetzt ein Diagnosesystem in die Lage, selbstständig auf Grund von Informationen aus einer elektronisch lesbaren Systembeschreibung von vorhandenen Symptomen auf mögliche Fehlerursachen zu schließen. Unter dem Begriff dynamischer Prüfablauf wurde ein Verfahren beschrieben, das eigenständig Prüfanweisungen zur Eingrenzung elektrischer Fehler generiert und sie dynamisch zu einer Prüfsequenz zusammensetzt. Durch die Kombination dieser beiden Verfahren in einem Diagnosesystem kann ein Mechaniker bei der Suche nach elektrischen Fehlern durch eine Abfolge von Prüfanweisungen unterstützt werden. Neuartig bei den hier beschriebenen Verfahren ist, dass dafür keine Fehlersuchprogramme, wie bei der geführten Fehlersuche, hinterlegt sein müssen. Dadurch, dass die Strukturdaten zu jedem Fahrzeug automatisch generiert werden, kann das Diagnosesystem alle Varianten abdecken, was bei manuell erstellten Fehlersuchprogrammen nur mit großem Aufwand möglich ist.

Der vorgestellte Ansatz ist über den beschriebenen Anwendungsfall hinaus, sehr vielversprechend für Systeme, deren Funktion sehr stark durch Software und Mechanik bestimmt wird. Bayessche Netze bieten die Möglichkeit, Beziehungen zwischen verschiedenartigen Teilsystemen wie Softwaremodulen, elektrischen Komponenten und mechanischen Baugruppen abzubilden. Durch die Berücksichtigung der vielfältigen Systemabhängigkeiten, die in modernen mechatronischen Systemen vorhanden sind, können intelligente Diagnosesysteme entwickelt werden, die die Leistungsfähigkeit heutiger Systeme weit übersteigen.

Literatur:

- [1] ISO 15031, Road vehicles - Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics, ISO 2006
- [2] Isermann, R: Modellgestützte Steuerung, Regelung und Diagnose von Verbrennungsmotoren, Springer 2003
- [3] Jensen, F.V. Bayesian Networks and Decision Graphs Springer 2001
- [4] Schwarzkopf, S. Generierung Bayesscher Netze zur wahrscheinlichkeitsbasierten Diagnose elektrischer Systeme. Diplomarbeit, FH-Braunschweig/Wolfenbüttel, Volkswagen AG, 2006